

aThis Page Is Inserted by IFW Operations  
and is not a part of the Official Record

## **BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning documents *will not* correct images,  
please do not report the images to the  
Image Problem Mailbox.**

**This Page Blank (uspto)**



**PCT**  
**WELTORGANISATION FÜR GEISTIGES EIGENTUM**  
**Internationales Büro**  
**INTERNATIONALE ANMELDUNG VERÖFFENTLICH NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE**  
**INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT)**

(4)

(51) Internationale Patentklassifikation 6 :	A1	(11) Internationale Veröffentlichungsnummer: WO 98/27474
G05B 13/04		(43) Internationales Veröffentlichungsdatum: 25. Juni 1998 (25.06.98)

(21) Internationales Aktenzeichen:	PCT/EP97/07096	(81) Bestimmungsstaaten: BR, CA, DE, US, europäisches Patent (AT, BE, CH, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE).
(22) Internationales Anmeldedatum:	17. Dezember 1997 (17.12.97)	
(30) Prioritätsdaten:	196 52 574.8 17. Dezember 1996 (17.12.96) DE	
(71) Anmelder ( <i>für alle Bestimmungsstaaten ausser US</i> ): SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT [DE/DE]; Wittelsbacherplatz 2, D-80333 München (DE).		
(72) Erfinder; und		
(75) Erfinder/Anmelder ( <i>nur für US</i> ): KEMNA, Andreas [DE/DE]; Waldstrasse 7, D-91052 Erlangen (DE). PALM, Rainer [DE/DE]; Reisinger Strasse 19, D-80337 München (DE). HEESCHE, Kai [DE/DE]; Raintaler Strasse 21, D-81539 München (DE). HOLLATZ, Jürgen [DE/DE]; Konrad-Witz-Strasse 14, D-81479 München (DE). FURUMOTO, Herbert [DE/DE]; Schenkstrasse 146, D-91052 Erlangen (DE).		

(54) Title: METHOD AND DEVICE FOR PROCESS CONTROL IN AN INDUSTRIAL PLANT

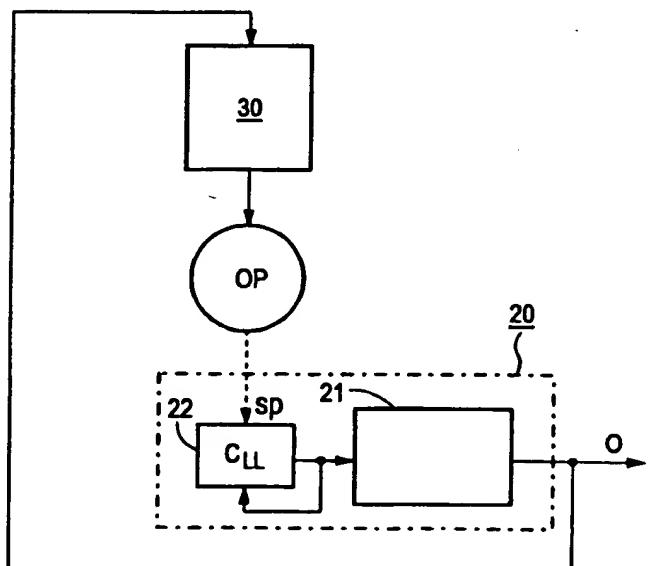
(54) Bezeichnung: VERFAHREN UND VORRICHTUNG ZUR PROZESSFÜHRUNG EINER VERFAHRENSTECHNISCHEN ANLAGE

(57) Abstract

The aim of the invention is, in particular, to control and/or regulate a recovery boiler used for the production of cellulose, whereby signals are determined from the process data produced for the input and output signals. More specifically, to this end raw data are entered into a data preprocessing unit, the processed data are used for system identification, and the desired target values for output signals, particularly for set values, are inputted by an operator. An optimization strategy is derived, which proposes a change in the input signals. To this end, the structured data are introduced into the regulating process. The associated device comprises an additional device (advisory system) for generating signals. In this way, the operator is presented with a prediction which corresponds to the control proposition and process model. The process model is re-corrected, i.e. adapted, in accordance with current process data.

(57) Zusammenfassung

Insbesondere soll ein Rückgewinnungskessel (sog. Recovery-Boiler) bei der Zellstoffherstellung gesteuert und/oder geregelt werden, wobei aus den für Eingänge und Ausgänge anfallenden Prozeßdaten Signale ermittelt werden. Im einzelnen werden dazu die Rohdaten in eine Einheit zur Datenvorverarbeitung gegeben, die aufbereiteten Daten für eine Systemidentifizierung verwendet, und vom Operator die gewünschten Zielwerte der Ausgänge, insbes. Sollwerte, eingegeben. Es wird eine Optimierungsstrategie abgeleitet, die ein Veränderung der Eingänge vorschlägt, wozu die strukturierten Daten in den Regelprozeß eingegeben werden. Bei der zugehörigen Vorrichtung ist eine zusätzliche Einrichtung (Advisory-System) zur Generierung von Signalen vorhanden. Damit wird dem Operator entsprechend dem Steuervorschlag und dem Prozeßmodell eine Prädiktion angeboten. Das Prozeßmodell wird aufgrund von aktuellen Prozeßdaten im Sinne einer Adaption nachkorrigiert.



***LEDIGLICH ZUR INFORMATION***

**Codes zur Identifizierung von PCT-Vertragsstaaten auf den Kopfbögen der Schriften, die internationale Anmeldungen gemäss dem PCT veröffentlichen.**

AL	Albanien	ES	Spanien	LS	Lesotho	SI	Slowenien
AM	Armenien	FI	Finnland	LT	Litauen	SK	Slowakei
AT	Österreich	FR	Frankreich	LU	Luxemburg	SN	Senegal
AU	Australien	GA	Gabun	LV	Lettland	SZ	Swasiland
AZ	Aserbaidschan	GB	Vereinigtes Königreich	MC	Monaco	TD	Tschad
BA	Bosnien-Herzegowina	GE	Georgien	MD	Republik Moldau	TG	Togo
BB	Barbados	GH	Ghana	MG	Madagaskar	TJ	Tadschikistan
BE	Belgien	GN	Guinea	MK	Die ehemalige jugoslawische Republik Mazedonien	TM	Turkmenistan
BF	Burkina Faso	GR	Griechenland	ML	Mali	TR	Türkei
BG	Bulgarien	HU	Ungarn	MN	Mongolei	TT	Trinidad und Tobago
BJ	Benin	IE	Irland	MR	Mauretanien	UA	Ukraine
BR	Brasilien	IL	Israel	MW	Malawi	UG	Uganda
BY	Belarus	IS	Island	MX	Mexiko	US	Vereinigte Staaten von Amerika
CA	Kanada	IT	Italien	NE	Niger	UZ	Usbekistan
CF	Zentralafrikanische Republik	JP	Japan	NL	Niederlande	VN	Vietnam
CG	Kongo	KE	Kenia	NO	Norwegen	YU	Jugoslawien
CH	Schweiz	KG	Kirgisistan	NZ	Neuseeland	ZW	Zimbabwe
CI	Côte d'Ivoire	KP	Demokratische Volksrepublik Korea	PL	Polen		
CM	Kamerun	KR	Republik Korea	PT	Portugal		
CN	China	KZ	Kasachstan	RO	Rumänien		
CU	Kuba	LC	St. Lucia	RU	Russische Föderation		
CZ	Tschechische Republik	LI	Liechtenstein	SD	Sudan		
DE	Deutschland	LK	Sri Lanka	SE	Schweden		
DK	Dänemark	LR	Liberia	SG	Singapur		
EE	Estland						

**Beschreibung****Verfahren und Vorrichtung zur Prozeßführung einer verfahrenstechnischen Anlage**

5

Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zur Prozeßführung einer verfahrenstechnischen Anlage, insbesondere eines Rückgewinnungskessels (sog. Recovery-Boiler) bei der Zellstoffherstellung, wobei aus für Eingänge und Ausgänge anfallenden Prozeßdaten Signale ermittelt und zur Steuerung und/oder Regelung des Prozesses verwendet werden. Daneben bezieht sich die Erfindung auch auf die zugehörige Vorrichtung, die vorzugsweise zur Steuerung und/oder Regelung des Recovery-Boilers als verfahrenstechnische Anlage geeignet ist, wobei der Anlage wenigstens eine Steuer- und/oder Regeleinrichtung zugeordnet ist.

Der Recovery-Boiler in einer Zellstofffabrik hat im wesentlichen zwei Aufgaben:

- 20 1. Rückgewinnung von Chemikalien aus dem anorganischen Anteil der Schwarzlauge  
2. Produktion von Dampf aus dem organischen Anteil der Schwarzlauge zur Energiegewinnung.

25 Der Herstellungsprozeß für Zellstoff beinhaltet das Kochen von Holzschnitzeln, wobei nach dem Kochungszzyklus ein Zellstoffbrei (Pulpe) und eine schwache Schwarzlauge (weak black liquor) entstehen. Die schwache Schwarzlauge (ca. 12 bis 18 % feste Stoffe) wird durch Eindampfung zu einer starken  
30 Schwarzlauge (strong black liquor = BL) mit 50 bis 55 % Feststoffen konzentriert. Durch einen weiteren Verfahrens-

schritt wird die Schwarzlauge (BL) auf 60 bis 80 % Feststoffe konzentriert, um die Verbrennung zu erleichtern.

Letztere Schwarzlauge (BL) wird in den Recovery-Boiler eingesprührt, wobei BL-Tröpfchen entstehen. Diese BL-Tröpfchen verbrennen im Recovery-Boiler und produzieren u.a. CO<sub>2</sub>, Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> und ggf. auch Kohle. Die organischen Bestandteile verbrennen zum großen Teil im Gasraum; eine weitere Umsetzung erfolgt in der Kohleschicht auf der Oberfläche eines Schmelzbettes (char-bed), das sich am Boden des Recovery-Boilers ausbildet. Durch die anorganischen Bestandteile der Schwarzlauge entsteht eine Sodaschmelze, die aus dem Recovery-Boiler abfließt. Diese Sodaschmelze wird in nachfolgenden Schritten des Rückgewinnungszyklus (Recovery cycle) weiterverarbeitet und dem Kochprozeß wieder zugeführt.

Das sog. Rußblasen (Sootblowing) ist ein notwendiger Reinigungsvorgang der Wärmeübergangsflächen im Recovery-Boiler. Dabei wird ein gewichtiger Anteil des im Recovery-Boiler erzeugten Dampfes verbraucht (ca. 5 bis 10 %). Das Rußblasen wird zyklisch durchgeführt. Daher muß u.a. zwischen der Effizienzsteigerung des Recovery-Boilers durch das Sootblowing und dem dafür notwendigen Dampfverbrauch optimiert werden.

Aufgabe der Erfindung ist es, ein Verfahren und eine Vorrichtung anzugeben, mit denen vorbeschriebener Prozeß in geeigneter Weise geführt werden kann.

Zur Lösung dieser Aufgabe wird erfindungsgemäß das im Patentanspruch 1 angegebene Verfahren insbesondere zwecks

Optimierung der Prozeßführung in der Zellstoff- und Papier-industrie vorgeschlagen. Vorteilhafte Weiterbildungen sind in Unteransprüchen angegeben, wobei insbesondere die Ansprüche 9 bis 11 praxisrelevante Ausbildungen für einen Recovery-Boiler kennzeichnen. Die zugehörige Vorrichtung wird in den Patentansprüchen 12 und 13 angegeben. Eine solche Vorrichtung ist geeignet, dem Anlagenfahrer als Operator eines anlagen-technischen Systems geeignete Hilfestellung zu geben.

Bei der Erfindung ist besonders vorteilhaft, daß über das Advisory-System dem Operator konkretere Steuervorschläge zum Fahren der Anlage gemacht werden können und darüber hinaus sogar eine Prädiktion als Vorhersage über den Anlagenbetrieb möglich ist. Dabei kann das dazu notwendige Prozeßmodell aufgrund von aktuellen Prozeßdaten nachkorrigiert werden, so daß das Modell dem aktuellen Anlagen-Zustand entspricht.

Weitere Einzelheiten und Vorteile des erfindungsgemäßen Verfahrens und der zugehörigen Vorrichtung speziell zur Prozeß-führung eines Recovery-Boilers ergeben sich aus nachfolgender Figurenbeschreibung. Es zeigen

Figur 1 eine schematische Darstellung eines Recovery-Boilers,  
Figur 2 die Grobstruktur des zugehörigen Regelkreises,  
Figur 3 den Aufbau des Advisory-Systems und  
Figur 4 ein Kamerabild eines Schmelzbettes des Recovery-Boilers gemäß Figur 1 und  
Figur 5 die Bedienoberfläche eines Interface des Advisory-Systems für die Mensch/Maschine-Kommunikation.

Die Figuren werden nachfolgend teilweise gemeinsam beschrieben. Die Erfindung wird daran beispielhaft speziell für einen Recovery-Boiler erläutert. Sie ist aber auch für andere verfahrenstechnische Anlagen insbesondere in der Zellstoff- und Papierindustrie einsetzbar.

Der eingangs bereits erläuterte Verbrennungs- und Rückgewinnungsprozeß bei der Zellstoffherstellung kann durch die maßgeblichen vier Eingänge (Prozeßimpuls  $\hat{=}$  Manipulated variables)  $\bar{u}$  beeinflußt werden:

1. Menge der einströmenden Schwarzlauge (BL-Flow)
2. Zugeführte Primärluft (Primary Air  $\hat{=}$  PA).
3. Zugeführte Sekundärluft (Secondary Air  $\hat{=}$  SA).
4. Zugeführte Tertiärluft (Tertiary Air  $\hat{=}$  SA).
- 15 5. Druck der einströmenden Schwarzlauge (BL-Pressure).

Die wesentlichen Ausgänge (Prozeßoutputs)  $\bar{y}$  lassen sich speziell bei einem Rückgewinnungskessel in der Papier- und Zellstoffindustrie durch folgende Variablen beschreiben:

- 20 1. Schmelzbett (char bed.)

Char-bed - Gestalt und zwar Höhe und Form

Char-bed - content, d.h. der chemische Gehalt der Einzelkomponenten

Char-bed - Temperatur

- 25 2. Der Bettgestalt kommt besondere Bedeutung zu.

2. Gas:

NOx - Gehalt

SOx - Gehalt

CO - Gehalt des Gases

- 30 O2 - Überschuß (Excess O<sub>2</sub>) im Gas

## 5

H<sub>2</sub>S + xx - Total reduced Sulfur (TRS)

3. Tröpfchengröße (Droplet size)

4. Zahl und Volumen der zu den Superheatern vom Gasstrom  
hinaufgerissenen Partikel (Carry Over)

5 5. Dampf:

Dampfdurchflußmenge F

Dampfdruck P

Dampftemperatur T.

6. Temperatur im Kessel (Temperaturprofil)

10 7. Reduktionsgrad der Grünlauge

8. pH-Wert der Asche

Bild 1 zeigt ein vereinfachtes Schema eines Recovery Boilers mit seinen Ein- und Ausgängen. Dargestellt ist ein Kessel 1 mit Einlässen 2 bis 6 sowie Auslässe 7 und 9. Im einzelnen wird über die Einlässe 2 und 3 Schwarzlauge (BL) eingesprührt, aus der sich nach Verbrennung eine Schmelze in einem Schmelzbett 10 variabler Gestalt bildet. Verbrennungsluft wird über die Einlässe 4 bis 6 zugeführt. Über den Auslaß 7 können Proben der Schmelze zur Reduktionsgradbestimmung entnommen werden.

Im oberen Bereich 8 des Kessels 1 wird mit der Verbrennung Dampf erzeugt und über einen Gasauslaß 9 ausgegeben. Es sind Meßstellen für die Dampfvariablen Durchfluß (F), Druck (P) und Temperatur (T) vorhanden. Weiterhin werden die Gasbestandteile wie O<sub>2</sub>, CO, SO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S und NO<sub>x</sub> bestimmt. Auch der pH-Wert der anfallenden Asche kann erfaßt werden.

30 Die allgemeinen Ziele der Prozeßsteuerung beim Betrieb des Recovery-Boilers gemäß Figur 1 sind

1. Verbesserung der Rückgewinnung der anorganischen Chemikalien (chemical recovery)
  2. Erhöhung der Energiegewinnung aus organischen Anteilen (energy conversion efficiency)
  - 5 3. Erhöhung der Verfügbarkeit des Recovery Boilers (Betriebskosten)
  4. Einhaltung der gesetzlich festgelegten Maximal-Konzentrationen von Schadstoffen in den Emissionen.
- 10 Letztere Ziele konkurrieren üblicherweise miteinander, so daß bei der Steuerung eines Recovery-Boilers eine komplexe Problematik vorliegt. Gegenwärtig werden Recovery-Boiler vom Anlagenfahrer, der nachfolgend als Operator OP bezeichnet wird, überwacht und gesteuert. Der Operator OP fährt den
- 15 Prozeß entsprechend seiner Erfahrung und insbesondere anhand von vorhandenen Prozeßrichtlinien.

Zur Einstellung der Stellgrößen  $\bar{u} = (\text{PA}, \text{SA}, \text{TA}, \text{BL-Flow}, \text{BL-Press})$  gibt es eine Grundautomatisierung, die üblicherweise

20 mit sog. Low-Level-Controllern durchgeführt wird, was hier als gegeben vorausgesetzt wird. Über der Ebene der Low-Level-Controller ist nunmehr eine weitere Regelungs-/Optimierungs-ebene vorgesehen, die

1. voneinander unabhängige Ausgänge (Prozeßoutputs)  $\bar{y}_u$  auf vorgegebene Sollwerte (Setpoints)  $\bar{y}_d$  einstellt und
- 25 2. voneinander abhängige Ausgänge (Prozeßoutputs)  $\bar{y}_u$  mit Hilfe einer entsprechenden Gewichtung Q so bewertet, daß sich im stationären Fall gewünschte Verhältnisse zwischen den Komponenten von  $\bar{y}_u$  einstellen.

Eine entsprechende Grobstruktur des Regelkreises zeigt Figur 2. In einer Einheit 20 wird ein Prozeß 21, der beispielhaft durch den Betrieb des Recovery-Boiler aus Figur 1 definiert ist, durch einen Controller 22 geregelt. Prozeßdaten werden 5 auf ein sog. Advisory-System 30 übergeben, das dem Operator OP Hinweise zum Einrichten der Setpoints sp am Controller 22 liefert.

Für die Reglerkonzeption und die zugehörige Optimierung ist 10 eine hinreichende Prozeßkenntnis notwendig, die z.B. auf eine datengetriebene Identifikation eines Prozeßmodells aufbaut. Das entsprechende Prozeßmodell wird dabei aus Betriebsdaten gewonnen. Im folgenden wird zunächst das Prozeßmodell beschrieben. Danach folgt eine Beschreibung der Schritte 15

- a) Datenvorverarbeitung (data reconciliation)
- b) Systemidentifikation (system identification)
- c) Optimierung
- d) Operatorberatung (operator advice).

20 Aus Figur 3 ist der Verfahrensablauf im Advisory-System 30 aus Figur 2 näher ersichtlich. Dazu sind Ablaufeinheiten 32 bis 36 zusammengeschaltet, die den softwaremäßigen Verfahrensablauf wiedergeben. Die Rohdaten gelangen über einen Eingang 31 auf die Einheit 32 zur Datenaufbereitung und von 25 dort auf die Einheit 33 zur Systemidentifikation. Hier erfolgt gleichermaßen eine Daten-Clusterung. Der Einheit 34 zur Optimierung ist weiterhin ein externer Optimierer 35 zugeordnet. Von dort werden die Daten auf die Einheit 36 zum Control Advice für den Operator OP aus Figur 2 gegeben.

Zur Prozeßidentifikation und Regelstrategie wird zunächst das Prozeßmodell betrachtet: Das dynamische Prozeßmodell hat im diskreten Fall folgende allgemeine Form

$$5 \quad \bar{x}_{k+1} = \bar{f}(\bar{x}_k, \bar{u}_k) \quad (1a)$$

$$\bar{y}_k = \bar{g}(\bar{x}_k, \bar{u}_k) \quad (1b)$$

mit

$\bar{x}_k$  - Zustandsvektor

$\bar{u}_k$  - Stellgrößenvektor

10  $\bar{y}_k$  - Outputvektor

Im vorliegenden Fall werden folgende Annahmen getroffen:

1. Die Prozeßoutputs und Zustandsgrößen werden gleichgesetzt

$$y_k = x_k$$

2. Das System wird als nichtlineares, aber statisches

15 Übertragungsglied angesehen

$$\bar{y}_k = \bar{g}(\bar{u}_k). \quad (2)$$

Diese Annahme über die statische Übertragungseigenschaft ist darin begründet, daß

20 1. das Open-Loop-System gemäß Gl'en (1a) und (1b) als stabil anzunehmen ist und

2. die größte Systemzeitkonstante als klein gegenüber der Abtastzeit angenommen wird.

25 Letzteres bedeutet, daß im Augenblick einer Messung bzw. eines Stelleingriffs sich das System immer im eingeschwungenen Zustand befindet. Dieses soll aus Gründen der Vereinfachung der Regelungsstrategie näherungsweise auch für die Bettgestalt gelten, worauf weiter unten eingegangen wird.

Eine Besonderheit des Systems ist, daß es weniger Eingänge als Ausgänge hat:

$$\dim(\bar{u}) < \dim(\bar{y}) . \quad (3)$$

5

Das bedeutet im vorliegenden Fall, daß mit den vorhandenen Eingängen die Ausgänge nicht beliebig beeinflußt werden können, was für die Systemidentifikation zwar keine Rolle spielt, aber für die Regelstrategie von Belang ist.

10

Im folgenden wird das System gemäß Gl. (2) um einen beliebigen Arbeitspunkt  $\bar{u}_k$  linearisiert

$$\Delta\bar{y}_k = J_c \cdot \Delta\bar{u}_k , \quad (4)$$

mit  $\Delta\bar{y}_k = \bar{y}_{k+1} - \bar{y}_k$  und der Jacobi-Matrix  $J_c = \left. \frac{\partial \bar{g}}{\partial \bar{u}} \right|_{\bar{u}=\bar{u}_k}$ . Gleichung

15 (4) beschreibt somit einen linearen Zusammenhang zwischen Änderungen  $\Delta\bar{u}_k$  am Eingang des Systems und den daraus folgenden Änderungen  $\Delta\bar{y}_k$  am Ausgang des Systems.

Für ein Teilsystems des Recovery-Boilers gemäß Figur 1 seien die Eingangsänderung  $\Delta\bar{u}_k = \Delta BL_k$  und die dazugehörenden Ausgangsänderungen  $\Delta\bar{y}_k = (\Delta O_2, \Delta CO)_k^T$ . Die entsprechende Jacobi-Matrix (Jacobian) lautet

$$J_c = \left( \left. \frac{\partial O_2}{\partial B L} \right|_{B L = B L_k}, \left. \frac{\partial C O}{\partial B L} \right|_{B L = B L_k} \right)^T . \quad (5)$$

25 Die Identifikationsaufgabe besteht nun darin, für bestimmte Arbeitspunkte  $\bar{u}_0$  die Jacobi-Matrizen zu ermitteln, während die Regelungsaufgabe darin besteht, für die ermittelten

10

Jacobi-Matrizen eine Regelstrategie zu entwerfen, die das System in den Arbeitspunkten  $\bar{u}_0$  optimiert.

Zur Datenvorverarbeitung (Data reconciliation) wird bei den 5 anfallenden Daten vom stationären Prozeß ausgegangen, so daß die Daten von instationären Vorgängen entfernt werden können. Die Prozeßdaten können stark verrauscht sein, insbesondere was die Gasvariablen betrifft. Die Datenvorverarbeitung behandelt daher verrauschte Prozeßdaten, die außerdem aufgrund 10 von Störungen in der Sensorik sehr stark aus einem vorgegebenen Toleranzband herausfallen können.

Zur Systemidentifikation kann zunächst eine datengetriebene Systemidentifikation mit Clusterung erfolgen. Das Ziel einer 15 Clusterung ist, aus vorliegenden Daten die Arbeitspunkte herauszufinden.

Die Arbeitspunkte werden im niedrigdimensionalen Eingaberaum, also insbesondere für die Eingänge  $\bar{u} = (\text{PA}, \text{SA}, \text{TA}, \text{BL-Flow})$ , definiert. Diese Besonderheit des Verfahrens wurde 20 deshalb gewählt, da wegen der geringeren Anzahl der Eingänge entsprechend Gl.(3) einige Ausgänge voneinander abhängig sind und daher eine unabhängige Clusterung des Ausgaberaums nicht möglich ist.

25

Die Daten-Clusterung erfolgt mittels eines bekannten Fuzzy-Clustering-Algorithmus, der in folgenden Schritten arbeitet:

1. Vorgabe der Merkmale, nach denen geclustert wird. Im vorliegenden Fall sind dieses die Eingangsvariablen  $\bar{u} = (\text{PA}, \text{SA}, \text{TA}, \text{BL-Flow})$

30

11

2. Vorgabe der Anzahl n der zu erwartenden Cluster. Bei den vorliegenden Daten hat sich eine Clusteranzahl von n=10 als am besten erwiesen.
3. Berechnung der Clusterzentren  $\bar{u}_c^i$
- 5 4. Ermittlung der Zugehörigkeitsfunktionen für  $\bar{u} = (\bar{u}_A, \bar{u}_S, \bar{u}_T, \bar{u}_{BL-Flow})$ , die für jede Komponente von  $\bar{u}$  angeben, welchen Zugehörigkeitswert zu einem Cluster  $C_i$  ein Datum besitzt, das einen bestimmten Abstand d von dessen Clusterzentrum  $\bar{u}_c^i$  hat. Diese Zugehörigkeitswerte werden  
10 bei der Systemidentifikation als Datengewichte berücksichtigt.

Anschließend erfolgt eine Identifikation des Prozeßmodells auf der Grundlage derjenigen Daten, die nach der Datenvor-  
15 verarbeitung vorliegen.

Die Identifikation des Prozeßmodells dient der späteren Vorhersage (Prädiktion) der Ausgänge (Prozeßoutputs) im Advice-Teil der Steuerung für den Recovery-Boiler. Bei der  
20 Modellbildung wird von einem statischen Prozeß ausgegangen, bei dem jede innere Prozeßdynamik vernachlässigt wird. Das ist deshalb gerechtfertigt, da die Zeitkonstanten schneller gasdynamischer Vorgänge aber auch langsamer thermischer Prozesse unterhalb der Eingriffszeit der Operators liegen.  
25 Die Modellierung geht daher zunächst von einem nichtlinearen, aber statischen Zusammenhang zwischen Inputs  $u$  und Outputs  $y$  des Prozesses aus:

$$y = f_n(u) . \quad (6)$$

12

Diese Funktion wird in verschiedenen Arbeitspunkten des Input-Raumes linearisiert und mit Hilfe des bekannten Takagi/Sugeno-Modellansatzes approximiert. Es ergibt sich

$$y = \sum_{i=1}^c \mu_i(u) \cdot (J_c^i \cdot u + const^i) \quad (7)$$

mit  $const^i = -J_c^i \cdot u^i + y^i$

$\mu_i(u)$  - Zugehörigkeitsgrad (degree of membership) of des i.clusters

5     $J_c^i$  - Jacobian des i.cluster

$const^i$  - Konstante des i.clusters

$u^i$  - Kern des i.clusters

$y^i$  - Ausgangsvektor zu  $u^i$

Die Identifikation benutzt ein rein datengetriebenes Verfahren, bei dem zunächst eine Clusterung des Input-Raumes vorgenommen wird und anschließend die Jacobians sowie die 10 konstanten Biases identifiziert werden.

Die dazu benutzten Datensätze basieren auf Tagessätzen von Prozeßdaten aus drei bis vier Monaten, die folgender Prozedur unterzogen werden:

15

- a) lineare Interpolation der sog. Infrequent Measurements
  - b) Einfügen von extra gemessenen Bettdaten
  - c) Herausstreichen von Datensätzen, deren Inputs oder Outputs maximale oder minimale Grenzen über- bzw. unterschreiten.
- 20    d) Filtern der Outputs Y\_CUR zu Y\_FILTER
- e) Ausschneiden von Transienten (15 min nach einer Input-Änderung der Luftströme und maximal 10 mal in einem Tagessatz)

13

- f) Zusammenfassen der Tagesdatensätze zu einem großen Datensatz  
 g) Gegebenenfalls lineare Interpolation der Bettdaten  
 h) Komprimierung der großen Datensatzes mit einem frei  
 5 wählbaren Kompressionsfaktor

Der Algorithmus zur Clusterung ist folgendermaßen strukturiert: Ausgehend von einer vorgegebenen Clusteranzahl  $c$  und einer Unschärfe  $m$  werden die Clusterzentren bis zu einer 10 maximalen Iterationsanzahl  $maxiter$  bzw. bis zu einer Abbruchschwelle  $u\_eps$  iterativ berechnet. Mit den Zugehörigkeitsgraden  $u$  und den Clusterzentren  $v_i$  ergeben sich dann folgende Schritte:

15 1. Berechnung der Clusterzentren  $v_i$ :

$$v_i = \frac{\sum_{k=1}^N u_{ik}^m \cdot x_k}{\sum_{k=1}^N u_{ik}^m}, \quad \forall i \in \{1, \dots, c\} \quad , \quad (8)$$

2. Berechnung einer Fuzzy-Scatter-Matrix  $S_i$ :

$$S_i = \sum_{k=1}^N u_{ik}^m \cdot (x_k - v_i) \cdot (x_k - v_i)^T, \quad \forall i \in \{1, \dots, c\} \quad , \quad (9)$$

20 3. Extrahieren der Eigenvektoren  $d_i$  der maximalen Eigenwerte jeder  $S_i$ ,

4. Berechnung der Zugehörigkeitsgrade  $u_{ik}$  und Abstände  $D_{ik}$  zwischen den Punkten und den Clusterzentren  $v_i$ :

$$D_{ik} = \sqrt{\|x_k - v_i\|^2 - \alpha \cdot \sum_{j=1}^q \left( (x_k - v_i)^T \cdot d_{ij} \right)^2} \quad \text{und} \quad u_{ik} = \left[ \sum_{j=1}^c \left( \frac{D_{ik}}{D_{jk}} \right)^{\frac{2}{m-1}} \right]^{-1}, \quad (10)$$

14

$$\forall i \in \{1, \dots, c\}, \forall k \in \{1, \dots, N\}$$

$$\text{bis } \{l = \text{maxiter} \quad \text{oder} \quad \max_{i,k} (\|u_{ik}^l - u_{ik}^{l-1}\|) \leq u_{\text{eps}}\}. \quad (11)$$

Die anschließende Regression berechnet für jedes Cluster die  
 5 Jacobian und den konstanten Bias anhand der Fuzzy-Clustering-  
 Ergebnisse und der gereinigten und normalisierten Eingangs-  
 variablen sowie jeder einzelnen gereinigten und normalisierte-  
 ten Ausgangsvariablen. In diesem Zusammenhang bedeutet  
 „gereinigt“, daß sogenannte Ausreißer in den Inputs um einen  
 10 Medianwert herum entfernt werden, wobei in diesem Fall sowohl  
 der Input- als auch der Output-Vektor gestrichen werden.

Vor jeder Regressionsberechnung für ein bestimmtes Cluster  
 wird jeder Datenpunkt durch seinen Zugehörigkeitsgrad zu  
 15 diesem Cluster gewichtet.

Das Modell wird derart berechnet, daß jeder einzelne Ausgang  
 getrennt berücksichtigt wird. Auf diese Weise erhält man ein  
 sog. MISO-Modell. Der Vorteil dieser Vorgehensweise ist, daß  
 20 für die Erstellung eines Modells für einen speziellen Ausgang  
 die maximale Anzahl der zur Verfügung stehenden Daten benutzt  
 wird.

Der Algorithmus ist folgendermaßen strukturiert:  
 25 1. Es seien

$$[X]_k = (x_i \cdot \mu_{ik}; \mu_{ik}) \text{ bzw.} \quad (12a)$$

$$[Y_j]_k = (y_{ij} \cdot \mu_{ik}) \quad (12b)$$

die gewichtete Eingangsmatrix bzw. der gewichtete Ausgangsvektor für das Cluster  $k$ .  $[X]_k^T$  ist eine  $n*n\_in$  Matrix und  $[Y]_k$  ist ein  $n*1$  Vektor, wobei  $n\_in$  die Dimension des Eingaberaums und  $n$  die Anzahl der Datenpunkte sind. Der normalisierte

5 Regressionsvektor  $b_{jk}$  wird dann folgendermaßen definiert:

$$b_{jk} = \left( [X]_k^T \cdot [X]_k^{-1} \right) \cdot [X]_k^T \cdot [Y]_k, \quad (13)$$

wobei der letzte Koeffizient von  $b_{jk}$  den konstanten Koeffizienten der Regression bezeichnet (Bias). Für jeden Ausgang ist die Zahl  $n$  unterschiedlich, da immer die maximal mögliche

10 Anzahl von Daten benutzt wird.

2. Denormierung von  $b_{jk}$ .

Die Ergebnisse der Identifikation sind in Datenfiles gespeichert mit folgenden Inhalten

fcjjj.mat - enthält folgende Parameter, die aus der  
15 Modellidentifikation ermittelt wurden:

v - nicht normierte Clusterzentren

v - normierte Clusterzentren

alpha - Locality parameter (hier alpha=0)

d - Clusterrichtungsparameter

20 fuzy - Parameter (hier fuzzy=1)

u - Zugehörigkeitswerte der Daten zu den  
Clustern nach der Identifikation

m - Fuzzyness parameter

c - Anzahl der Cluster

25 ljjj - Konstante Bias-Werte des Modells

ljj\_b - Konstante Bias-Werte des Basismodells

jjj - Jacobians für alle Cluster in einer Matrix  
zusammengefaßt

jacob.mat - Jacobians J1...J10 für jedes Cluster getrennt

jacob\_b.mat - Jacobians J1...J10 für jedes Cluster getrennt  
für das Basismodell

Die Bettgestalt wird mit Hilfe dreier Parameter, und zwar der  
5 Breite (width), der Höhe (height) und der Exzentrizität  
(eccentricity) wiedergegeben. Durch den Operator erfolgt eine  
Zuordnung der von der Kamera wiedergegebenen Bettgestalt zu  
einem ausgewählten Bettmuster. Nach der optischen Auswahl  
werden intern die drei Bettparameter berechnet und abgespei-  
10 chert. Diese Daten werden wie gewöhnliche Prozeßoutputs  
behandelt und werden sowohl zur Prozeßidentifikation als auch  
zur Optimierung gleichberechtigt mit den anderen Prozeß-  
outputs herangezogen. Allerdings werden diese Daten seltener  
(ca. 60 bis 120 min) als die anderen Prozeßoutputs (minüt-  
15 lich) bestimmt.

Die Identifikation der Bettgestalt wird vom Operator durch-  
geführt. Dem Operator wird eine Anzahl möglicher Bettgestal-  
ten als Muster angeboten. Diese Muster erhalten Koordinaten,  
20 anhand derer eine zahlenmäßige Benennung eines Musters aber  
auch die zahlenmäßige Angabe eines approximierten Zwischen-  
wertes möglich ist. Die vorliegenden Muster vergleicht der  
Operator mit der Bettgestalt, die er anhand eines Kamera-  
bildes mit Hilfe einer Kamera identifiziert. Hat der Operator  
25 eine Ähnlichkeit zwischen dem Kamerabild und einem Muster  
gefunden, so gibt er in das Advisorysystem die Koordinaten  
desjenigen Musters ein, von dem er annimmt, daß es am  
ähnlichsten mit der im Kamerabild dargestellten angezeigten  
Bettgestalt ist.

Ein Kamerabild mit einer erkennbaren Bettgestalt 40 ist in Figur 4 wiedergegeben. Figur 5 zeigt Beispiele verschiedener Bettgestaltmuster. Anhand Figur 5 wird ein Programm (opera.m) zur Mensch-Maschine-Kommunikation mit Bedienoberfläche in 5 WINDOWS-Format für einen Recovery-Boiler gemäß Figur 1 unter Verwendung des vorstehend erläuterten Vorgehens verdeutlicht:

Das Programm opera.m realisiert ein User-Interface zur Bestimmung der Bettparameter Höhe, Breite und Exzentrizität, 10 d.h. der (Unsymmetrie. Dem Operator werden verschiedene Bettformen auf dem Feld 61 der Bedienoberfläche 60 in Figur 5 angeboten, die dieser dann mit der Maus auswählen und als Datenelemente in den Datenvektor Y\_FILT eingeben kann. Der Operator fungiert somit als "intelligenter Sensor". Sein 15 individueller Eindruck von der Bettform wird aufgrund des Kamerabildes 40 aus Figur 4 als Datentripel BED\_WIDTH, BED\_HEIGHT, BED\_EXC abgespeichert und bei der Optimierung berücksichtigt.

20 In opera.m werden mögliche Bettformen generiert, die der Operator individuell auswählen kann. Die Grundformel zur Berechnung der Bettform ist

$$y = h * \exp(-\text{abs}(x/w) .^n) \quad (14)$$

25

mit

w - Weitenparameter

h - Höhenparameter

x - x-Koordinate

30 y - y-Koordinate

n - Exponent

Es wird eine symmetrische Kurve erzeugt. Zur Erzeugung von asymmetrischen Bettformen wird die Formel gemäß Gl. (14) in einen linken und einen rechten Teil geteilt, so daß mit 5 einem zusätzlichen Exzentrizitätsparameter auch eine asymmetrische Bettform produziert werden kann. Mit vertikalen und horizontalen Sliders am Fenster 61 in Figur 5 lassen sich Weite, Höhe und Exzentrizität stufenlos einstellen. Ein zusätzliches Fenster 62 zeigt die Parameter der gewählten 10 Bettform an. Mit einem Apply-Button 63 wird die gewählte Bettform als gültig übernommen. Mit dem Setpoint-Button 64 kann eine gewünschte Bettform eingegeben werden. Mit dem Close-Button 65 wird das Fenster geschlossen.

15 Anschließend wird die Optimierung des Reglerentwurfs (control design) behandelt, wobei ein geeignetes Prozeßmodell vorausgesetzt wird:

a) Prozeßmodell:  
20 Die Optimierung geht wiederum entsprechend der bereits abgehandelten Identifikation mit Gl. (7) von einem nicht-linearen, aber statischen Zusammenhang zwischen Inputs  $u$  und Outputs  $y$  des Prozesses aus:

25 
$$y = f_{nl}(u), \quad (6')$$

deren Approximation bereits erläutert wurde.

Im Programm wird  $\mu_i(u)$  mit MU(i) bezeichnet und die Vektoren  $y$  30 und  $u$  werden durch ihre gefilterten Werte  $y_{fil}$  und  $u_{fil}$  ersetzt.

## b) Optimierung

Die Optimierung benutzt die folgende zu minimierende Gütefunktion

5

$$J = (\mathbf{y}_{\text{filt}} - \mathbf{y}_{\text{setp}})^T Q (\mathbf{y}_{\text{filt}} - \mathbf{y}_{\text{setp}}) + (\mathbf{u}_{\text{adv}} - \mathbf{u}_{\text{filt}})^T R (\mathbf{u}_{\text{adv}} - \mathbf{u}_{\text{filt}}) + J_{1_{\min}} + J_{1_{\max}} \quad (15)$$

mit

 $J$  - Kostenfunktion $\mathbf{y}_{\text{filt}}$  -  $n \times 1$  gefilterter Ausgangsvektor $\mathbf{y}_{\text{setp}}$  -  $n \times 1$  ausgangsseitiger setpoint Vektor $\mathbf{u}_{\text{adv}}$  -  $m \times 1$  Eingangs Advicevektor $\mathbf{u}_{\text{filt}}$  -  $m \times 1$  gefilterter Eingangsvektor $Q$  -  $n \times n$  gewichtete Matrix für Ausgang $R$  -  $m \times m$  gewichtete Matrix für Eingänge $J_{1_{\min}}$  - Kostenfunktion für die kleinsten Beschränkungen $J_{1_{\max}}$  - Kostenfunktion für die größten Beschränkungen

- 10 Es wird angenommen, daß  $m < n$ . Das Optimum wird ermittelt durch Gradientenabstieg. Für jedes Clusterzentrum wird ein Vektor  $\Delta \mathbf{u}'_{\text{adv}}$  berechnet, der die Gütefunktion  $J$  in Richtung ihres Optimums führt:

$$\Delta \mathbf{u}'_{\text{adv}} = -K \cdot \frac{dJ}{d\mathbf{u}_{\text{filt}}} = -K \cdot \left( \frac{\partial J}{\partial \mathbf{y}_{\text{filt}}} \cdot \frac{\partial \mathbf{y}_{\text{filt}}}{\partial \mathbf{u}_{\text{filt}}} + \frac{\partial J}{\partial \mathbf{u}_{\text{filt}}} \right) \Big|_l \quad (16)$$

Hieraus ergibt sich

$$\Delta \mathbf{u}'_{\text{adv}} = -K \cdot (J_c'^T \cdot Q \cdot (\mathbf{y}_{\text{filt}} - \mathbf{y}_{\text{setp}}) + R \cdot (\mathbf{u}_{\text{adv}} - \mathbf{u}_{\text{filt}}) + J_c'^T \cdot Y_{\text{vec}}) \quad (17)$$

- 20 mit  $K = (1 - \lambda) \sum_{i=1}^c \mu_i(u) [J_c'^T \cdot Q \cdot J_c + R]^{-1}$ . (17a)

 $\lambda$  bestimmt die Lernrate bei der Optimierung.

20

$Y_{vec}$  ist ein Vektor, dessen Elemente aus den Output Soft Constraints berechnet werden und die nichtlinear von  $y$  abhängen. Im zugehörigen Programm selbst wurde die Q-Matrix durch  $Q1=abs(sgn(Q))$  ersetzt, um eine doppelte Gewichtung, 5 sowohl im Setpoint als auch in der Kostenfunktion zu verhindern.

Die Gesamtänderung für  $u_{adv}$  ergibt sich zu

$$\Delta u_{adv} = \sum_{i=1}^c \mu_i(u) \cdot \Delta u_{adv}^i . \quad (18)$$

Anhand des differentiellen Prozeßmodells

10

$$y_{model}(k+1) = y_{model}(k) + \sum_{i=1}^c \mu_i(u) \cdot J_c^i \cdot \Delta u_{adv} \quad (19)$$

wird ein  $u_{adv}(k+1) = u_{adv}(k) + \Delta u_{adv}(k+1)$  solange berechnet, bis die Änderungen eine bestimmte Grenze  $\varepsilon$  unterschritten haben

15

$$|y_{model}(k+1) - y_{model}(k)| < \varepsilon \quad (20)$$

beziehungsweise eine bestimmte Anzahl von Iterationen erreicht ist.

20

Da jedes Outputelement von  $y$  nicht unabhängig von den Inputelementen von  $u$  gesteuert werden kann, ist nicht zu erwarten, daß bei Erreichen des globalen Optimums

25  $J = \min$  auch sämtliche Setpoints in  $y_{setp}$  erreicht werden. Es ergibt sich daher immer ein Kompromiß zwischen den zu erreichenden Teilzielen.

Auf der Basis der in der Optimierung berechneten Inputs U\_ADV und dem gerade aktuellen gefilterten Prozeßinput U\_FILT sowie dem aktuellen gefilterten Prozeßoutput Y\_FILT wird über das Prozeßmodell ein Wert Y\_EST vorhergesagt, der zusätzliche

5 Informationen über Beschränkungen außerhalb der Optimierungsschleife berücksichtigt. Y\_EST ist derjenige Prozeßoutput, der sich ergeben würde, wenn man unter den obengenannten Beschränkungen den Advice U\_ADV implementieren würde.

10 Insgesamt ergibt sich also eine geeignete Operatorberatung (Operator-Advice): Ein Operator-Advice wird dann gegeben, wenn

1. die Stationarität des Prozesses gestört ist, beispielweise durch Parameterfluktuation oder sprunghaften
- 15 bzw. driftförmigen Störungen an den Prozeßeingängen, und diese durch Veränderung der Prozeßeingänge wiederhergestellt werden soll,
2. ein neuer Sollwert oder eine neue Gewichtung der Ausgänge gefordert wird und der Prozeß von einem Arbeitspunkt in
- 20 einen neuen Arbeitspunkt gesteuert werden soll.

Beide Punkte haben Auswirkungen auf die geforderte Änderung des Stellgrößenvektors  $\dot{u}$ . Da es sich nicht um eine automatische Regelung handelt, und da der Operator nicht durch 25 ständige Advices überlastet werden darf, werden Advices nur ab einer bestimmten Schwelle der Stellgrößenänderungen gegeben. Diese Schwellwerte werden prozeßangepaßt festgelegt.

Ein sog. Pattern Learning wurde implementiert, um das statische Prozeßmodell, das aus einer großen Menge von Daten ge-

22

wonnen wurde, entsprechend dem aktuellen Prozeßverhalten zu adaptieren. Hierbei wird angenommen, daß die einmal identifizierten Input-Clusterzentren weiterhin bestehen bleiben. Das bedeutet, daß die Clusterzentren nicht adaptiert werden.

5 Zu jedem Zeitpunkt werden gleitende Mittelwerte

$$DELTA\_Y = Y_2 - Y_1 = \frac{1}{N\_JAC} \left[ \sum_{i=MAXHIST-N\_JAC}^{MAXHIST-1} Y\_CUR(i) - \sum_{i=MAXHIST-N\_JAC-1}^{MAXHIST-2} Y\_CUR(i) \right] \quad (21)$$

$$10 \quad DELTA\_U = U_2 - U_1 = \frac{1}{N\_JAC} \left[ \sum_{i=MAXHIST-N\_JAC}^{MAXHIST-1} U\_CUR(i) - \sum_{i=MAXHIST-N\_JAC-1}^{MAXHIST-2} U\_CUR(i) \right] \quad (22)$$

berechnet. Dabei sind  $U\_CUR$  und  $Y\_CUR$  ungefilterte Ein- bzw. Ausgänge,  $N\_JAC$  die Anzahl der zu mittelnden Werte und  $MAXHIST$  eine Zählvariable. Danach werden aus dem Modell die

15 Werte

$$delta\_y = \sum_{i=1}^c MU(i) \cdot J_e(i) \cdot DELTA\_U \quad (23)$$

berechnet.

20

Das Adoptionsgesetz für eine neue Jacobian  $J\_NEW$  lautet:

$$J\_NEW\_i = J'_e + LearRat \cdot MU(i) \cdot \frac{(DELTA\_Y - delta\_y) \cdot DELTA\_U^T}{DELTA\_U^T \cdot DELTA\_U + Spoot} \quad (24)$$

25 mit der Adoptionsrate LearRat und der Konstante Spoot. Mit der Einfügung des Multiplikator  $MU(i)$  werden die Cluster-

zentren entsprechend ihrer Anregung adaptiert, wodurch die sog. "Persistence of Excitation" berücksichtigt wird. Um ein zu großes Abdriften der neu berechneten Jacobian von der ursprünglich berechneten Jacobian zu verhindern, wird die

- 5 Norm der Differenz  $\text{DELTA}_J_i = J_{\text{NEW}_i} - J_{\text{B}_i}$  berechnet, die nicht größer sein darf, als eine vorgegebene Schranke THRES. Wird diese Schranke erreicht, so ändert sich die Jacobian in diesem Schritt nicht.

- 10 Schließlich ist auch ein sog. Batch Learning möglich:

Um Arbeitspunktveränderungen wirksam abfangen zu können, wird zyklisch eine Neuberechnung des Prozessmodells durchgeführt. Hierzu werden die Daten, aus denen das ursprüngliche Grundmodell berechnet wurde, mit aktuellen Daten angereichert und 15 mit diesem erweiterten Datensatz sowohl eine neue Clusterbestimmung als auch eine neue Modellberechnung durchgeführt.

Eine zusätzliche Option auf eine Operatorberatung ist, einen Advice dann zu geben, wenn der Absolutwert der geforderte

- 20 Stellgrößenänderung einen bestimmten Prozentsatz des Absolutwertes der Stellgröße angenommen hat.

Der Advice wird wie folgt berechnet:

- 25 1. Einlesen der aktuellen Prozeßinputs und -outputs  
2. Filterung der aktuellen Prozeßinputs und -outputs  
3. Bei Bedarf Eingabe der Bettform  
4. Berechnung des Advices aus der Optimierung und einer entsprechenden Prädiktion  
30 5. Test, ob die geplante Adviceänderung unterhalb einer vorgeschriebenen Schranke liegt, womit die Empfindlichkeit

24

definiert ist. Dabei ergeben sich zwei Möglichkeiten:

- Wenn ja → keine Adviceänderung
- Wenn nein → Adviceänderung

6. Aussetzen des Advices für eine vorgeschriebene Zeit, wenn  
5 der Operator den Advice implementiert hatte.

## Patentansprüche

1. Verfahren zur Prozeßführung einer verfahrenstechnischen Anlage, insbesondere eines Rückgewinnungskessels (sog. Recovery-Boiler) bei der Zellstoffherstellung, wobei aus für Eingänge und Ausgänge anfallenden Prozeßdaten Signale ermittelt und zur Steuerung und Regelung des Prozesses verwendet werden, mit folgenden Verfahrensschritten:
  - Die Rohdaten werden in einer Einheit zur Datenvorverarbeitung aufbereitet,
  - die aufbereiteten Daten werden einer Systemidentifizierung unterzogen,
  - vom Operator werden gewünschte Zielwerte der Ausgänge, vorzugsweise Prozeßsollwerte, eingegeben,
  - damit wird eine Kontroll-/Optimierungsstruktur abgeleitet, die eine Veränderung der Eingänge vorschlägt,
  - die strukturierten Daten werden in den Regelprozeß eingegeben.
- 20 2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß zur Systemidentifizierung datengetriebene Methoden verwendet werden.
- 25 3. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß zur Systemidentifizierung Fuzzy-Methoden, insbesondere eine Fuzzy-Clusterung, angewandt werden.
- 30 4. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß zur Systemidentifizierung statistische Methoden verwendet werden.

5. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das Prozeßmodell aufgrund von aktuellen Prozeßdaten im Sinne einer Adaption nachkorrigiert wird.

5

6. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß vom Operator die Gewichtung der zu erreichenden Zielwerte einstellbar ist.

10 7. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß dem Operator ein Vorschlag für ein zu implementierendes Steuersignal unterbreitet wird.

15 8. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß dem Operator entsprechend dem Steuervorschlag und dem Prozeßmodell eine Vorhersage der zu erwartenden Prozeßreaktion angeboten wird

20 9. Verfahren nach Anspruch 1, wobei ein Recovery-Boiler mit einem Schmelzbett (char bed) variabler Gestalt vorhanden ist, dadurch gekennzeichnet, daß

- die Gestalt des Schmelzbettes mit einem Katalog typischer, automatisch parametrierbarer Bettgestalten verglichen wird,
- durch optischen Vergleich des Schmelzbettbildes mit den 25 angebotenen Mustern eine Grobklassifikation der Bettgestalt vorgenommen wird,
- eine Feineinstellung der Parameter des ausgewählten Musters dieses so verändert, daß es dem Schmelzbild am nächsten kommt,
- die Parameter des ausgewählten und feineingestellten 30 Musters in die Datenbasis automatisch eingegeben werden,

- die eingegebenen Bettparameter als aktuelle Bettdataen verarbeitet werden.

10. Verfahren nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß das Schmelzbett durch eine Kamera erfaßt und als Kamerabild dem Operator auf einem Monitor vermittelt wird.

11. Verfahren nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß der Vergleich und/oder die Feineinstellung durch den Operator erfolgt.

12. Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach Anspruch 1 oder einem der Ansprüche 2 bis 11, vorzugsweise zur Prozeßführung eines sog. Recovery-Boilers als verfahrenstechnische Anlage, wobei der Anlage wenigstens eine Steuer- und/oder Regeleinrichtung zugeordnet ist, dadurch gekennzeichnet, daß ein Regelkreis mit einer Einrichtung (Advisory-System 30) zur Generierung von Signalen, für die wenigstens eine Steuer- und/oder Regeleinrichtung einschließlich Regelkreis vorhanden ist, mit dem einem Operator (OP) die neuen Steuer- und Regelsignale mitgeteilt werden.

25 13. Vorrichtung nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, daß das Advisory-System (30) ein Interface (60) beinhaltet, an dem vom Operator (OP) das Bild (40) des Schmelzbettes mit den vom Interface (60) angebotenen Bettformen verglichen und durch Feineinstellungen an die aktuelle Bettform angepaßt wird.

1/5

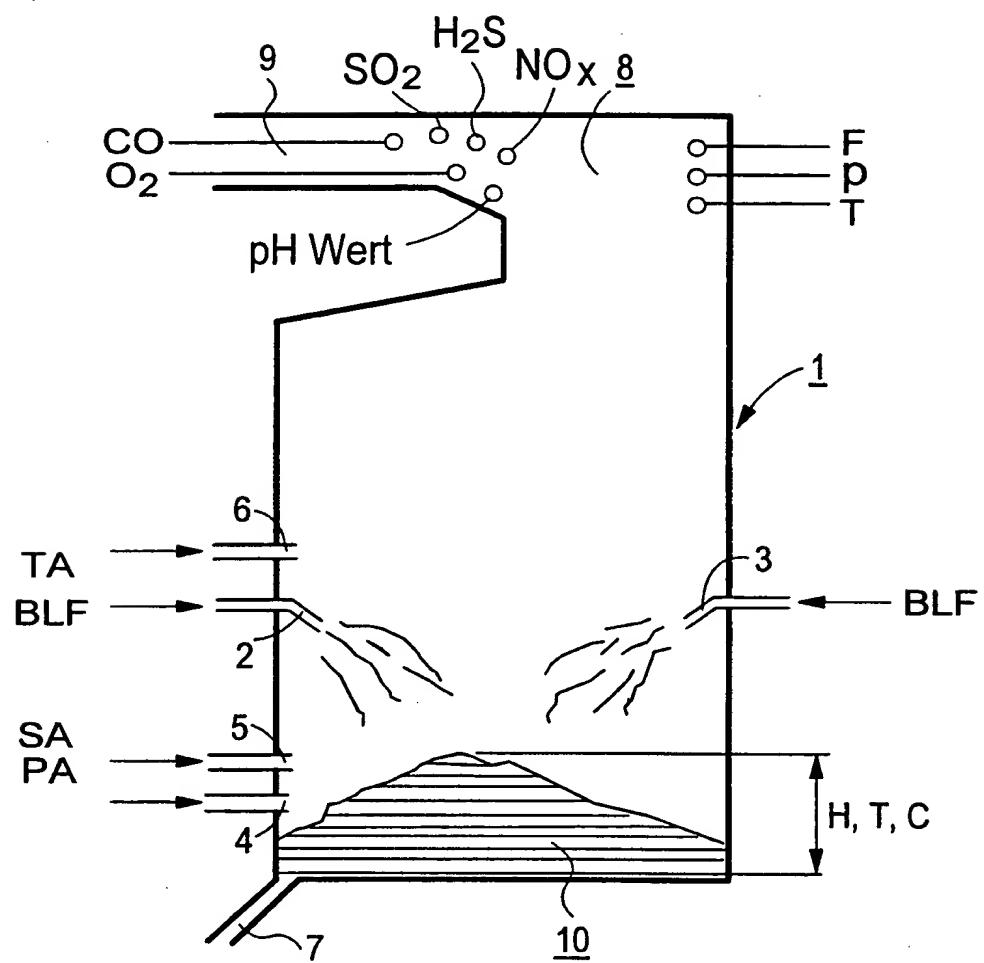


FIG 1

2/5

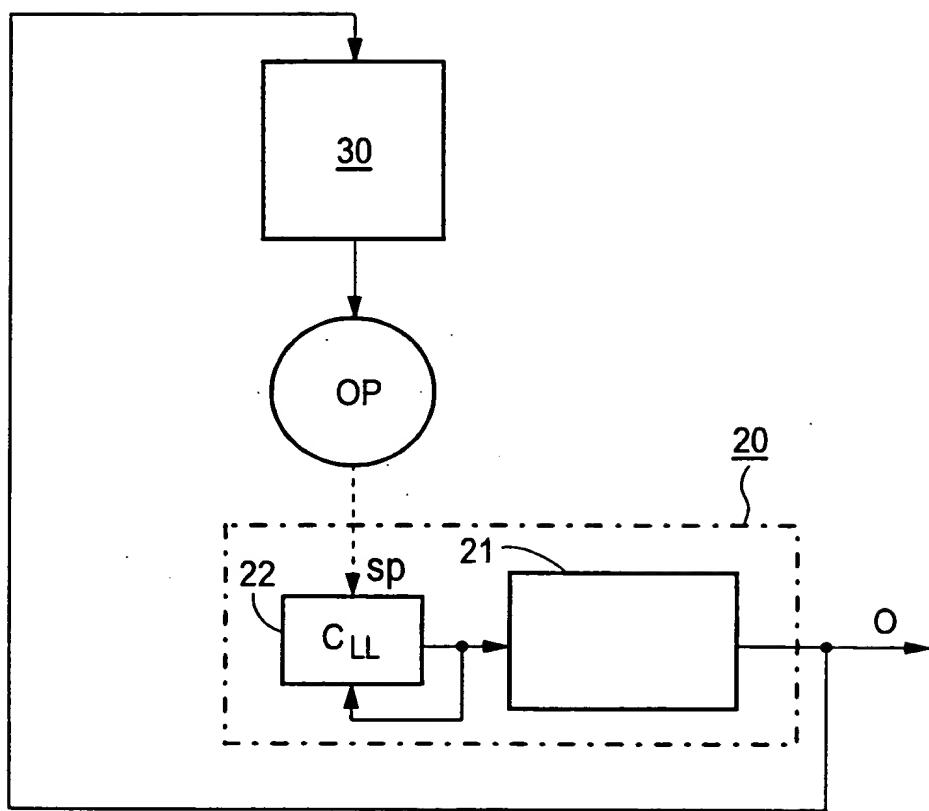


FIG 2

3/5

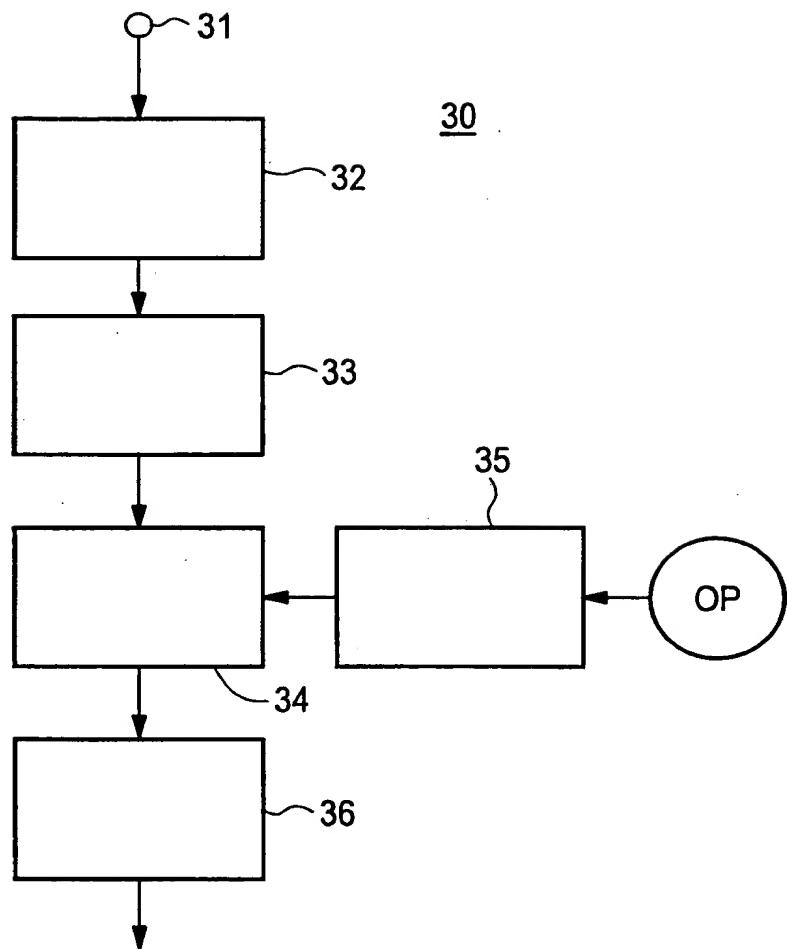


FIG 3

4/5



40

FIG 4

5/5

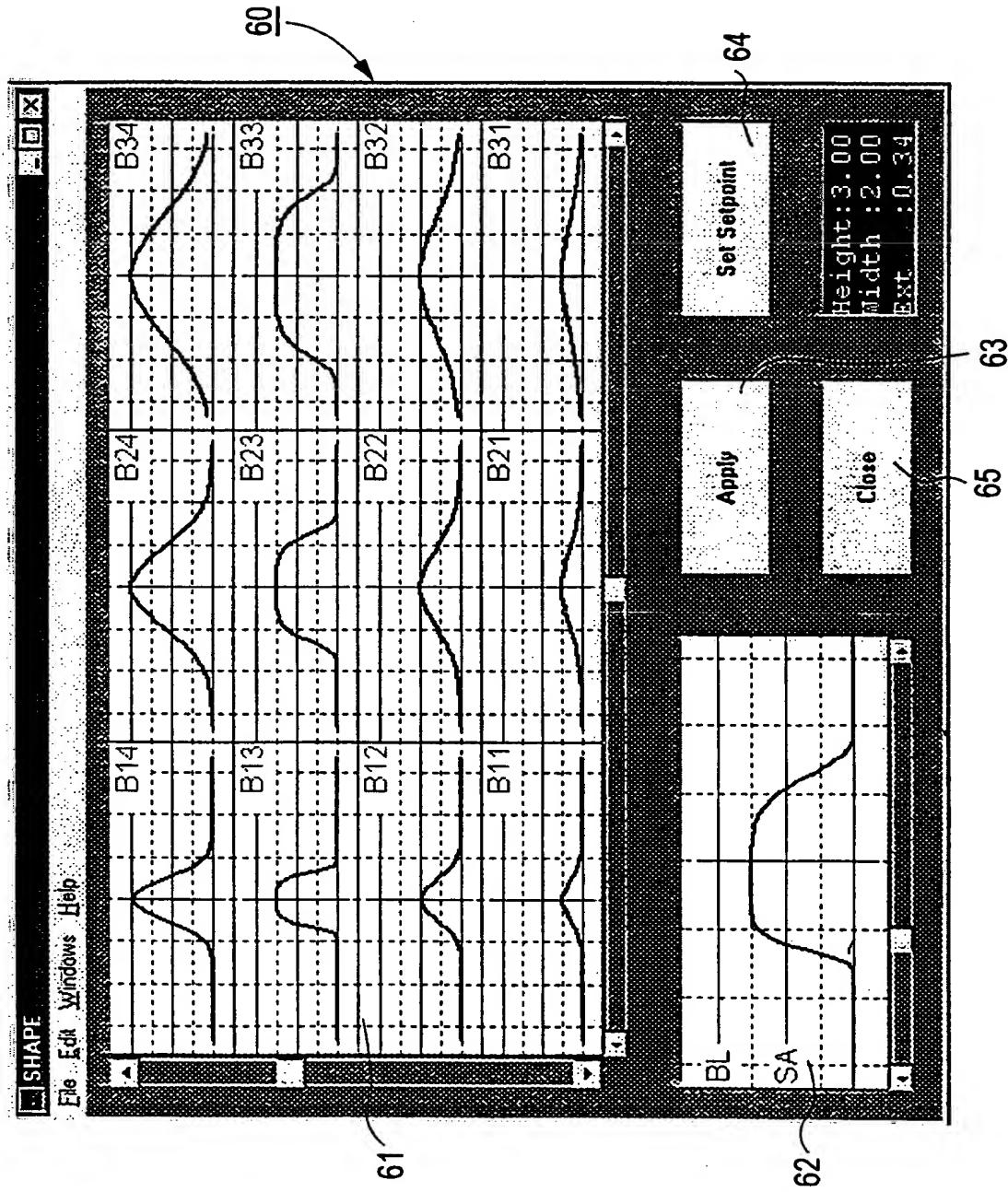


FIG 5

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

National Application No

PCT/EP 97/07096

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

IPC 6 G05B13/04

According to International Patent Classification(IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 6 G05B

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	US 4 768 469 A (IIZUKA KAZUYUKI ET AL) 6 September 1988 see the whole document ---	1
Y	R.BABUSKA ET AL: "RECENT ADVANCES IN FUZZY MODELLING AND CONTROL" IFAC ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN REAL TIME, 29 November 1995, UK, pages 43-54, XP002063148 see the whole document ---	1
A	SKARI MURTOVAARA ET AL: "FUZZY LOGIK EDGE DETECTION ALGORITHM" PROCEEDINGS IWISP 96, 4 November 1996, UK, pages 423-426, XP002063149 see the whole document ---	10,12
	-/-	

Further documents are listed in the continuation of box C.

Patent family members are listed in annex.

### \* Special categories of cited documents :

- "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- "E" earlier document but published on or after the international filing date
- "L" document which may throw doubt on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

23 April 1998

Date of mailing of the international search report

25/05/1998

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Kelperis, K

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Int'l Application No  
PCT/EP 97/07096

**C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT**

Category	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	<p>E.LAZAREVSKA: "FUZZY MODELLING OF THE PROCESS OF HEATING A ZINK TANK"          THE THIRD INTERNATIONAL CONFERENCE ON AUTOMATION ROBOTICS AND COMPUTER VISION,          9 November 1994, SINGAPURE,          pages 1855-1859, XP002063150          see the whole document</p> <p>-----</p>	3
A	<p>R.BABUSKA ET AL: "IDENTIFICATION OF COMPOSITE LINEAR MODELS VIA FUZZY CLUSTERING"          PROCEEDINGS OF THE 3RD EUROPEAN CONTROL CONFERENCE,          September 1995, ITALY,          pages 1207-1212, XP002063151          see the whole document</p> <p>-----</p>	3

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**

Information on patent family members

tional Application No

PCT/EP 97/07096

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)			Publication date
US 4768469	A 06-09-1988	JP 1884929 C			10-11-1994
		JP 6008682 B			02-02-1994
		JP 62029802 A			07-02-1987
		JP 1886980 C			22-11-1994
		JP 6011950 B			16-02-1994
		JP 62029803 A			07-02-1987
		JP 1884930 C			10-11-1994
		JP 6008683 B			02-02-1994
		JP 62029804 A			07-02-1987
		JP 1895255 C			26-12-1994
		JP 6021429 B			23-03-1994
		JP 62029828 A			07-02-1987
		JP 1981782 C			25-10-1995
		JP 7011116 B			08-02-1995
		JP 62029805 A			07-02-1987
		JP 1935473 C			26-05-1995
		JP 6063601 B			22-08-1994
		JP 62029806 A			07-02-1987
		JP 1895256 C			26-12-1994
		JP 6021430 B			23-03-1994
		JP 62029829 A			07-02-1987
		JP 1797419 C			28-10-1993
		JP 4080156 B			17-12-1992
		JP 62029821 A			07-02-1987
		JP 62129601 A			11-06-1987

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP 97/07096

## A. KLASIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES

IPK 6 G05B13/04

Nach der internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

## B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierte Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)

IPK 6 G05B

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

## C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie <sup>1</sup>	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
Y	US 4 768 469 A (IIZUKA KAZUYUKI ET AL) 6.September 1988 siehe das ganze Dokument ---	1
Y	R.BABUSKA ET AL: "RECENT ADVANCES IN FUZZY MODELLING AND CONTROL" IFAC ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN REAL TIME, 29.November 1995, UK, Seiten 43-54, XP002063148 siehe das ganze Dokument ---	1
A	SKARI MURTOVAARA ET AL: "FUZZY LOGIK EDGE DETECTION ALGORITHM" PROCEEDINGS IWISP 96, 4.November 1996, UK, Seiten 423-426, XP002063149 siehe das ganze Dokument ---	10, 12
		-/-



Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen



Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :	
"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist	"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmelde datum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist
"E" älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmelde datum veröffentlicht worden ist	"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfindenscher Tätigkeit beruhend betrachtet werden
"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)	"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfindenscher Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist
"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht	"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist
"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmelde datum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist	

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche	Absendedatum des internationalen Recherchenberichts
23.April 1998	25/05/1998
Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl, Fax: (+31-70) 340-3016	Bevollmächtigter Bediensteter  Kelperis, K

## INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Jonales Aktenzeichen

PCT/EP 97/07096

## C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	E.LAZAREVSKA: "FUZZY MODELLING OF THE PROCESS OF HEATING A ZINK TANK" THE THIRD INTERNATIONAL CONFERENCE ON AUTOMATION ROBOTICS AND COMPUTER VISION, 9.November 1994, SINGAPURE, Seiten 1855-1859, XP002063150 siehe das ganze Dokument ----	3
A	R.BABUSKA ET AL: "IDENTIFICATION OF COMPOSITE LINEAR MODELS VIA FUZZY CLUSTERING" PROCEEDINGS OF THE 3RD EUROPEAN CONTROL CONFERENCE , September 1995, ITALY, Seiten 1207-1212, XP002063151 siehe das ganze Dokument -----	3

**INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT**

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Int. nationales Aktenzeichen

PCT/EP 97/07096

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 4768469 A	06-09-1988	JP 1884929 C	10-11-1994
		JP 6008682 B	02-02-1994
		JP 62029802 A	07-02-1987
		JP 1886980 C	22-11-1994
		JP 6011950 B	16-02-1994
		JP 62029803 A	07-02-1987
		JP 1884930 C	10-11-1994
		JP 6008683 B	02-02-1994
		JP 62029804 A	07-02-1987
		JP 1895255 C	26-12-1994
		JP 6021429 B	23-03-1994
		JP 62029828 A	07-02-1987
		JP 1981782 C	25-10-1995
		JP 7011116 B	08-02-1995
		JP 62029805 A	07-02-1987
		JP 1935473 C	26-05-1995
		JP 6063601 B	22-08-1994
		JP 62029806 A	07-02-1987
		JP 1895256 C	26-12-1994
		JP 6021430 B	23-03-1994
		JP 62029829 A	07-02-1987
		JP 1797419 C	28-10-1993
		JP 4080156 B	17-12-1992
		JP 62029821 A	07-02-1987
		JP 62129601 A	11-06-1987